

## СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

А.А. Правикова<sup>1</sup>, Д.Ю. Ляпунов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики ТУСУР

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: lyapunov@tpu.ru

## A POWER SUPPLY FOR A REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE

A.A. Pravikova<sup>1</sup>, D.Y. Lyapunov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Automation and Electromechanics TUSUR

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The paper delves into the block diagram of the power supply for a remotely operated underwater vehicle (ROV) that is supplied via AC transmission line in the form of a rope-cable. The block diagram combined the power supply circuitry and a control system that ensures the desired voltage at the load representing ROV's electrical equipment. Authors suggest to compensate the voltage drop across the rope-cable by introducing a bias signal and adding it to the reference signal that sets the voltage needed across the load. The simulation results in Matlab Simulink showed that the power supply provides the ROV with electric power of admissible quality and voltage of 1200 V within  $\pm 10\%$  error band.*

В последние годы телеуправляемые подводные аппараты (ТПА) широко применяются для разведки нефти и газа в мировом океане, а также для возведения подводных конструкций и спасательных операций. Чтобы обеспечить указанные действия, ТПА нуждаются в надёжном источнике электроэнергии, который посредством кабель-троса обеспечивает передачу электроэнергии на подводную часть. Длина кабель-троса может достигать 8 км и более, что вызывает определённые проблемы с контролем уровня напряжения на ТПА из-за значительного падения напряжения. Для организации системы управления уровнем напряжения необходимо его отслеживать и контролировать желаемым образом посредством применения замкнутой системы автоматического управления. Кроме того, целесообразно обеспечить приемлемое качество формы питающего напряжения на нагрузке для снижения потерь от высших гармоник [1]. Под нагрузкой понимается силовое электрооборудование на борту ТПА, посредством которого осуществляются операции ТПА на морском дне – манипуляторы, движители, освещение.

Существует два варианта электроснабжения ТПА. Первый предусматривает применение высоковольтной линии электропередачи постоянного тока. Второй – использование высокочастотной линии переменного тока. В настоящее время оба варианта широко применяются для обозначенной цели [2]. В данной работе рассматривается вариант переменного тока, что, по мнению авторов, позволит значительно снизить массогабаритные показатели электрооборудования как на борту судна снабжения, так и непосредственно в ТПА. При этом основной преобразовательный элемент – трансформатор и основная часть силовых преобразователей электроэнергии располагаются на борту. Принимая во внимание все вышесказанные преимущества, на рис. 1 представлена система электроснабжения ТПА с электропередачей переменного тока по кабель-тросу.

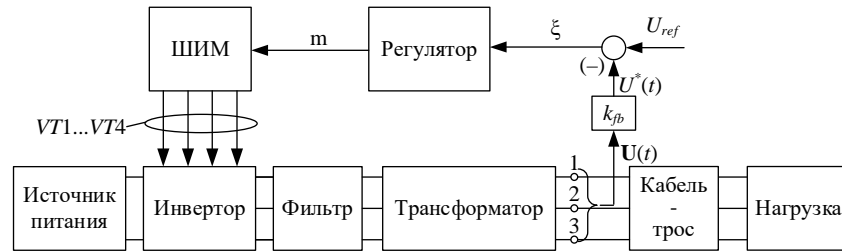


Рис. 1. Система электроснабжения телеуправляемого подводного аппарата

Источник питания установлен на борту судна снабжения. Энергия с этого источника поступает на инвертор через фильтр, далее, на трансформатор, который повышает уровень линейного трехфазного напряжения примерно до 1900 В. Напряжение бортовой части измеряется на выходных клеммах 1, 2 и 3. Далее электроэнергия передаётся посредством кабель-троса на нагрузку номинальной мощности 48 кВт. Действующее значение линейного напряжения на нагрузке должно быть 1200 В с зоной допустимых отклонений  $\pm 10\%$ , согласно условиям технического задания. Частота питающего напряжения составляет 1000 Гц, что соответствует оптимальным массогабаритным показателям силового трансформатора и фильтра.

К сожалению, падение напряжения на кабель-тросе может составлять до 700 В, согласно наземным испытаниям. Потеря напряжения на рассматриваемой части системы электроснабжения является неизбежным. Тем не менее, снимая напряжение на выходных клеммах 1, 2 и 3 в виде вектора  $U(t)$ , преобразуя его в знакопостоянный сигнал обратной связи по напряжению на борту  $U^*(t)$  с применением блока обратной связи  $k_{fb}$ , вычисляя ошибку  $\xi$  как разность сигнала задания  $U_{ref}$  и обратной связи  $U^*(t)$  и направляя сигнал ошибки на регулятор, структура (рис. 1) обеспечивает требуемый уровень линейного напряжения на ТПА посредством блока ШИМ, который формирует синусоиду напряжения инвертора с коэффициентом модуляции  $m$ .

Методы настройки регуляторов представлены в [3]. Для нашего случая была применена настройка регулятора напряжения на симметричный оптимум, что гарантирует желаемые динамические характеристики системы электроснабжения. Для компенсации падения напряжения на кабель-тросе предлагается добавлять сигнал постоянного смещения к сигналу задания  $U_{ref}$  для того, чтобы получить желаемое напряжение на ТПА 1200 В. Этот сигнал вычисляется на основе результатов наземных испытаний кабель-троса и соответствует падению напряжения.

Перед созданием макетного образца системы электроснабжения имеет место стадия разработки её имитационной модели. Среди сред математического моделирования электротехнических комплексов, Matlab Simulink предлагает универсальный набор блоков для моделирования как силовых схем, так и систем управления, представленных в одном файле [4]. Это позволяет значительно снизить временные и стоимостные затраты на разработку системы электроснабжения. Кроме того, рассматриваемый способ моделирования позволяет учитывать допустимый разброс параметров компонентов силовой схемы электротехнического комплекса [5].

Осциллограмма линейного напряжения на борту  $U(t)$  на выходных клеммах в установившемся режиме представлена на рис. 2.

Визуально можно оценить, что кривая напряжения (рис. 2) содержит высшие гармоники. Однако, для питания ТПА она подходит и с учётом падения напряжения на кабель-тросе, на нагрузке обеспечивается действующее значение линейного напряжения 1200 В в пределах зоны допустимых отклонений  $\pm 10\%$ . Использование кривой напряжения на подводной части ТПА в качестве сигнала обратной связи для системы управления представляет сложную техническую задачу, так как кабель-трос является линией с распределёнными параметрами с присущими ей волновыми явлениями.

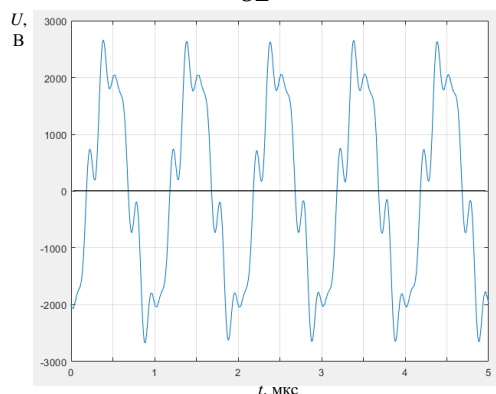


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на выходных клеммах бортовой части

Предложенная структурная схема автоматического управления уровнем напряжения на выходных клеммах трансформатора, расположенного на борту судна снабжения, в значительной степени решает эту задачу.

Исследованная структура системы электроснабжения может служить базой для разработки линейки систем электроснабжения с электропередачей переменного тока для питания ТПА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rashid M. Power Electronics Handbook. –Cambridge: Elsevier, 2018. – 1522 p.
2. Christ R., Wernly R. The ROV Manual: A User Guide for Observation-Class Remotely Operated Vehicles. –Oxford: Elsevier Ltd, 2007. – 679 p.
3. Лукас В.А. Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
4. Фролов В.Я. Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab – Simulink. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 332 с.
3. Юдинцев А.Г., Ткаченко А.А., Ляпунов Д.Ю. Методика разработки имитатора нагрузок для наземных испытаний систем электропитания автономных объектов // Электротехнические системы и комплексы. – 2020. – № 1 (46). – С. 60–66.

### УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

И.А. Разживин, Н.Ю. Рубан, А.С. Гусев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: lionrash@tpu.ru

### UNIVERSAL MODEL OF AERODYNAMIC CONVERSION FOR SPECIALIZED PROCESSOR OF WIND TURBINE

I.A. Razzhivin, N.Yu. Ruban, A.S. Gusev

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** The article deals with a universal model of aerodynamic transformation of a wind power plant. This model is implemented in specialized software-hardware hybrid simulation tool and is intended for a comprehensive solution to the design and operation of power systems with wind power plants, and can also be used for further research of problems associated with a change in the total inertia in power systems with wind power plants and the development of techniques settings of automatic devices to prevent stability violation.

Энергия ветра считается одной из самых перспективных и наиболее конкурентоспособных экологически чистых источников энергии. Использование